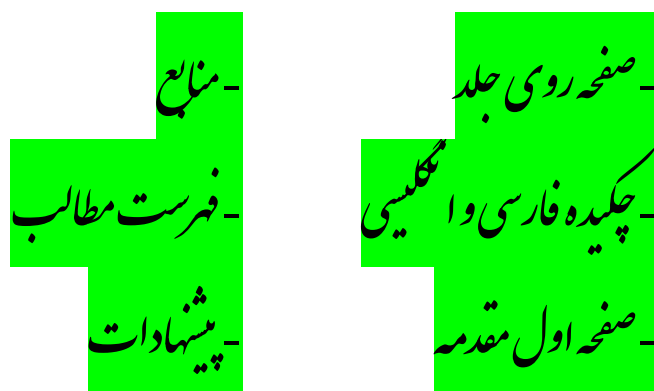


«پژوهشگر کرامی»

صفحاتی را که مشاهده می فرمائید، گزیده ای محدود از یک سند پژوهشی طولانی است که شامل:



برای مشاهده فهرست دیجیتال پایان نامه ها / رساله های می توانید به آدرس ذیل مراجعه کنید:

<http://lib.uok.ac.ir:8080>

در صورت به وجود آمدن هرگونه مشکل و پرسش در زمینه دسترسی، تهیه و استفاده از منابع الکترونیکی و دیجیتال به بخش پایان نامه ها و منابع دیجیتال کتابخانه مرکزی و مرکز اسناد مراجعه نموده و تماس بگیرید!

شماره تماس ۰۸۷-۳۳۶۲۴۰۰۶



دانشگاه کردستان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی برق (قدرت و کنترل)

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش کنترل

عنوان:

بهبود تسهیم توان در ریز شبکه جزیره ای AC با استفاده از دینامیک های مجازی

پژوهشگر:

محمد ربوئه

استاد راهنما:

دکتر حسن بیورانی

استاد مشاور:

دکتر فهاد شفیعی

بهمن ۱۴۰۱

انستگاه کردستان

بنام خداوند جان و خرد



دانشگاه کردستان

دانشکده مهندسی

مهندسی برق (قدرت و کنترل)

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش کنترل

عنوان:

بهبود تسهیم توان در ریزشکبه جزیره‌ای AC با استفاده از
دینامیک‌های مجازی

پژوهشگر:

محمد ربوشه

استاد راهنما:

دکتر حسن بیورانی

استاد مشاور:

دکتر قباد شفیعی

بهمن ۱۴۰۱



دانشگاه کردستان
دانشکده مهندسی
گروه مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش کنترل

عنوان:

بهبود تسهیم توان در ریزشیکه جزیره‌ای AC با استفاده از دینامیک‌های مجازی

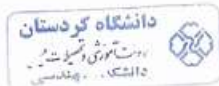
پژوهشگر:

محمد ریوشه

در تاریخ ۱۴۰۱/۱۱/۲۷ توسط کمیته تخصصی هیات داوران زیر مورد بررسی قرار گرفت و با درجه خوب به تصویب رسید.

امضاء	مرتبۀ علمی	نام و نام خانوادگی	هیات داوران
	استاد	دکتر حسن بیورانی	۱- استاد راهنما
	دانشیار	دکتر قیاد شفیعی	۲- استاد مشاور
	دانشیار	دکتر بزدان باتمانی	۳- استاد داور خارجی
	دانشیار	دکتر هیمین گل‌بیرا	۴- استاد داور داخلی

مهر و امضاء معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده



مهر و امضاء مدیر گروه

چکیده

ریزشبکه ساختار جدیدی است که با حضور منابع تولیدپراکنده، منجر به بهرورسانی شبکه برق می‌شود. قابلیت کار در حالت جزیره‌ای یکی از مهم‌ترین مزیت‌های استفاده از ریزشبکه‌ها است، زیرا امکان تداوم تامین توان را در زمان بروز اغتشاش در شبکه اصلی فراهم می‌کند. تسهیم توان یا به‌اشتراک‌گذاری توان در ریزشبکه‌ها در حالت جزیره‌ای همواره یک نیاز اساسی محسوب می‌شود، در واقع تسهیم توان در بین واحدهای تولید پراکنده یکی از مهمترین چالش‌های موجود در ریزشبکه است، چرا که عدم تسهیم مناسب توان در میان آنها منجر به تسهیم بار نابرابر می‌شود که ممکن است در حالت اتصال به شبکه به مصرف‌کننده و همچنین شبکه آسیب برساند و اغلب منجر به ناپایداری می‌شود.

تسهیم توان مناسب باعث بهبود عملکرد ریزشبکه و افزایش کنترل‌پذیری آن در زمان خطا می‌شود. در ریزشبکه‌هایی که از چندین منبع تولید پراکنده تشکیل شده است، روش کنترل اکتیو تکنیکی است که برای تسهیم توان به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. کنترل اکتیو به فرکانس و ولتاژ اجازه می‌دهد تا در مقادیر متفاوتی از مقدار مرجع خود ثابت شوند و توان اکتیو و راکتیو را در بین منابع تولید پراکنده به اشتراک بگذارند، اما در حالی که توان اکتیو به‌طور متناسب با مقدار نامی در بین منابع تولید پراکنده تسهیم می‌شود، تسهیم توان راکتیو به دلیل تفاوت در امپدانس خط و امپدانس خروجی اینورترها، به خطا منجر می‌شود.

جهت تسهیم دقیق توان در ریزشبکه ضمن استفاده از روش کنترل اکتیو، ضروری است به نحوی تفاوت در امپدانس خط و امپدانس خروجی اینورترها کنترل و جبران شود. رویکرد کنترلی پیشنهادی این پژوهش استفاده از حلقه‌های دینامیک مجازی به عنوان ترم‌های اصلاح‌گر جهت تسهیم مناسب توان است. استفاده از حلقه‌های دینامیک مجازی یک روش مناسب جهت بهبود عملکرد روش کنترل اکتیو معمولی در تسهیم توان است. در این تحقیق ابتدا با استفاده از حلقه امپدانس مجازی تفاوت در امپدانس خط و امپدانس خروجی اینورترها جبران می‌شود که موجب بهبود تسهیم توان اکتیو و راکتیو می‌شود، سپس با اعمال حلقه کنترل مجازی به عنوان جایگزین حلقه امپدانس مجازی تفاوت در امپدانس خط و امپدانس خروجی اینورترها جبران می‌شود و تسهیم توان اکتیو و راکتیو بهبود می‌یابد. حلقه کنترل مجازی شامل یک جبران‌ساز پس‌فاز است که با ایجاد فاز منفی موجب بهبود تسهیم توان می‌شود.

کلید واژه‌ها: ریزشبکه، حالت جزیره‌ای، کنترل اکتیو، تسهیم توان، توان راکتیو، دینامیک‌های مجازی

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- بیان مسئله و معرفی روش حل آن	۳
۳-۱- ساختار پایان نامه	۷
فصل دوم: پیشینه تحقیق	۸
۱-۲- مقدمه	۸
۲-۲- کنترل توان	۸
۲-۲-۱- تسهیم توان اکتیو	۱۱
۲-۲-۲- تسهیم توان راکتیو	۱۲
۳-۲- جمع بندی	۱۶
فصل سوم: کنترل افنی و تسهیم توان	۱۸
۱-۳- مقدمه	۱۸
۲-۳- کنترل در ریزشبکه	۱۹
۲-۳-۱- کنترل متمرکز	۱۹
۲-۳-۲- کنترل غیرمتمرکز	۲۰
۲-۳-۳- کنترل توزیع شده	۲۱
۳-۳- کنترل سلسله مراتبی	۲۲
۴-۳- کنترل افنی	۲۴
۴-۳-۱- مشخصه کنترل افنی در سیستم های قدرت سنتی	۲۵

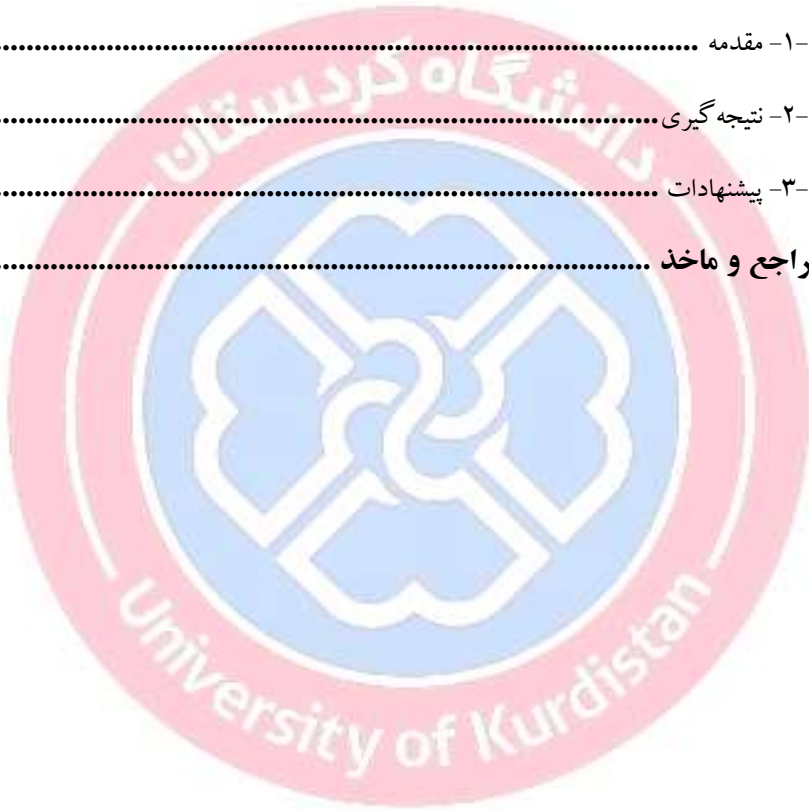
- ۲۷ ۲-۴-۳- مشخصه کنترل افقی در اینورترهای مبتنی بر منابع تولید پراکنده
- ۲۹ ۱-۲-۴-۳ شبکه القایی $X \gg R$
- ۳۰ ۲-۲-۴-۳ شبکه مقاومتی $X \ll R$
- ۳۰ ۳-۲-۴-۳ شبکه امپدانس $Z = R + jX$
- ۳۱ ۵-۳- تسهیم توان
- ۳۲ ۶-۳- دینامیک‌های مجازی
- ۳۳ ۱-۶-۳ اینرسی مجازی
- ۳۳ ۲-۶-۳ ضرب میرایی مجازی
- ۳۴ ۳-۶-۳ ژنراتور سنکرون مجازی
- ۳۵ ۴-۶-۳ امپدانس مجازی
- ۳۷ ۷-۳- جمع‌بندی

فصل چهارم: مدل‌سازی و تحلیل عملکرد یک ریزشبکه جزیره‌ای مبتنی بر اینورتر

- ۳۸ ۱-۴- مقدمه
- ۳۹ ۲-۴- مدل ریزشبکه جزیره‌ای
- ۴۲ ۱-۲-۴- مدل فضای حالت یک اینورتر
- ۴۳ ۱-۱-۲-۴- مدل فضای حالت کنترل توان
- ۴۵ ۲-۱-۲-۴- مدل فضای حالت کنترل ولتاژ
- ۴۶ ۳-۱-۲-۴- مدل فضای حالت کنترل جریان
- ۴۷ ۴-۱-۲-۴- مدل فیلتر LC خروجی و اندوکتانس کوپلینگ
- ۴۸ ۵-۱-۲-۴- مدل کامل یک اینورتر
- ۵۰ ۶-۱-۲-۴- مدل ترکیبی همه اینورترها

- ۵۲ مدل فضای حالت شبکه ۲-۲-۴
- ۵۳ مدل فضای حالت بار ۳-۲-۴
- ۵۳ مدل کامل ریزش شبکه ۴-۲-۴
- ۵۴ آنالیز مقادیر ویژه ۳-۴
- ۵۵ شبکه نمونه ۴-۴
- ۵۷ کاهش مرتبه مدل سیستم ۵-۴
- ۵۹ مدل امیدانس مجازی ۶-۴
- ۶۰ جمع بندی ۷-۴
- فصل پنجم: روش کنترلی پیشنهادی و نتایج شبیه سازی ۶۱**
- ۶۱ مقدمه ۱-۵
- ۶۲ تسهیم توان در روش کنترل افقی معمولی ۲-۵
- ۶۴ ضرایب کنترل افقی در دو ناحیه مقدار یکسانی داشته باشد ۱-۲-۵
- ۶۵ ضرایب کنترل افقی در دو ناحیه مقدار متفاوتی داشته باشند باشد ۲-۲-۵
- ۶۷ تسهیم توان در روش کنترل افقی معمولی با اعمال حلقه امیدانس مجازی ۳-۵
- ۶۸ تغییر مقدار مقاومت و سلف مجازی در اینورتر ۱ ۱-۳-۵
- ۷۰ تغییر مقدار مقاومت و سلف مجازی در اینورتر ۲ ۲-۳-۵
- ۷۱ طراحی امیدانس مجازی جهت بهبود تسهیم توان ۳-۳-۵
- ۷۴ ضرایب کنترل افقی در دو ناحیه مقدار یکسانی داشته باشند ۱-۳-۳-۵
- ۷۷ ضرایب کنترل افقی در دو ناحیه مقدار متفاوتی داشته باشند ۲-۳-۳-۵
- ۷۷ تسهیم توان در روش کنترل افقی معمولی با اعمال حلقه کنترل کننده مجازی ۴-۵
- ۷۹ روش کنترل عملکردی از پیش تعیین شده ۱-۴-۵

۸۳	۲-۴-۵- ضرایب کنترل افی در دو ناحیه مقدار یکسانی داشته باشند
۸۸	۳-۴-۵- ضرایب کنترل افی در دو ناحیه مقدار متفاوتی داشته باشند
۹۰	۵-۵- مزایا و معایب روش کنترلی
۹۱	۶-۵- جمع بندی
۹۲	فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۲	۱-۶- مقدمه
۹۳	۲-۶- نتیجه گیری
۹۴	۳-۶- پیشنهادات
۹۵	مراجع و ماخذ



فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: نمایی از شبکه انتقال و توزیع و جایگاه ریزشبه و تولید پراکنده ۳
- شکل ۱-۲: ساختار کنترل اولیه و اعمال حلقه‌ی دینامیک مجازی ۵
- شکل ۱-۳: ساختار کلی یک اینورتر و سیستم کنترل آن با استفاده از حلقه‌های امپدانس و میرایی مجازی ۶
- شکل ۱-۲: مشخصه افقی برای DGهای مبتنی بر اینورتر با امپدانس خط القایی: (الف) کنترل افقی $f-P$ ، (ب) کنترل افقی $V-Q$ ۱۱
- شکل ۱-۳: ساختار روش کنترل متمرکز ۲۰
- شکل ۲-۳: ساختار روش کنترل غیرمتمرکز ۲۱
- شکل ۳-۳: ساختار روش کنترل توزیع شده ۲۲
- شکل ۴-۳: ساختار کنترل سلسله مراتبی در ریزشبه ۲۳
- شکل ۵-۳: مدل سیستم باس بی‌نهایت یک ماشین ۲۶
- شکل ۶-۳: مدل DG مبتنی بر اینورتر ۲۸
- شکل ۷-۳: ساختار کلی ژنراتور سنکرون مجازی ۳۴
- شکل ۸-۳: ساختار اعمال حلقه امپدانس مجازی ۳۵
- شکل ۹-۳: اعمال حلقه امپدانس مجازی در اینورتر متصل به شبکه ۳۶
- شکل ۱-۴: ساختار ریزشبه مبتنی بر اینورتر ۳۹
- شکل ۲-۴: بلوک دیاگرام مدل فضای حالت سیگنال کوچک یک ریزشبه ۴۰
- شکل ۳-۴: تبدیل قاب مرجع ۴۱
- شکل ۴-۴: بلوک دیاگرام اینورتر DG ۴۲
- شکل ۵-۴: کنترل توان ۴۳
- شکل ۶-۴: کنترل ولتاژ ۴۵
- شکل ۷-۴: کنترل جریان ۴۶
- شکل ۸-۴: معادل سیگنال کوچک تبدیل قاب مرجع ۴۹
- شکل ۹-۴: نمایش یک شبکه نمونه ۵۱

- شکل ۴-۱۰: شبکه نمونه ۵۵
- شکل ۴-۱۱: طیف مقادیر ویژه سیستم ۵۷
- شکل ۴-۱۲: طیف مقادیر ویژه سیستم کاهش مرتبه داده شده ۵۸
- شکل ۴-۱۳: ساختار امیدانس مجازی ۵۹
- شکل ۵-۱: شبیه سازی دو منبع تولید پراکنده که از طریق دو خط بهم متصل شده اند ۶۲
- شکل ۵-۲: تسهیم توان اکتیو با روش کنترل افقی معمولی و ضریب افقی یکسان ۶۳
- شکل ۵-۳: تسهیم توان راکتیو با روش کنترل افقی معمولی و ضریب افقی یکسان ۶۳
- شکل ۵-۴: مدار معادل شبکه نمونه ۶۴
- شکل ۵-۵: تسهیم توان اکتیو با روش کنترل افقی معمولی و ضریب افقی متفاوت ۶۶
- شکل ۵-۶: تسهیم توان راکتیو با روش کنترل افقی معمولی و ضریب افقی متفاوت ۶۶
- شکل ۵-۷: ساختار مدل امیدانس مجازی پیشنهادی ۶۸
- شکل ۵-۸: تغییرات طیف مقادیر ویژه به ازای تغییر مقاومت مجازی اینورتر ۱ ۶۹
- شکل ۵-۹: تغییرات طیف مقادیر ویژه به ازای تغییر سلف مجازی اینورتر ۱ ۷۰
- شکل ۵-۱۰: تغییرات طیف مقادیر ویژه به ازای تغییر مقاومت مجازی اینورتر ۲ ۷۱
- شکل ۵-۱۱: تغییرات طیف مقادیر ویژه به ازای تغییر سلف مجازی اینورتر ۲ ۷۲
- شکل ۵-۱۲: بلوک دیاگرام روش حلقه بستن ترتیبی ۷۲
- شکل ۵-۱۳: تسهیم توان اکتیو با تنظیم امیدانس مجازی ناحیه ۱ و ضریب افقی یکسان ۷۳
- شکل ۵-۱۴: تسهیم توان راکتیو با تنظیم امیدانس مجازی ناحیه ۱ و ضریب افقی یکسان ۷۴
- شکل ۵-۱۵: تسهیم توان اکتیو با تنظیم امیدانس مجازی ناحیه ۱ و ۲ و ضریب افقی یکسان ۷۵
- شکل ۵-۱۶: تسهیم توان راکتیو با تنظیم امیدانس مجازی ناحیه ۱ و ۲ و ضریب افقی یکسان ... ۷۶
- شکل ۵-۱۷: تسهیم توان اکتیو با تنظیم امیدانس مجازی ناحیه ۱ و ۲ با ضریب افقی متفاوت ۷۶
- شکل ۵-۱۸: تسهیم توان راکتیو با تنظیم امیدانس مجازی ناحیه ۱ و ۲ با ضریب افقی متفاوت .. ۷۷
- شکل ۵-۱۹: ردیابی تابع خطا در کنترل عملکردی از پیش تعیین شده ۷۸
- شکل ۵-۲۰: پاسخ پله مدل کاهش مرتبه داده شده ی ناحیه ۱ بدون اعمال امیدانس مجازی ۸۰
- شکل ۵-۲۱: پاسخ پله ناحیه ۱ بعد از دکوپله سازی ۸۱
- شکل ۵-۲۲: پاسخ پله ناحیه ۲ بعد از دکوپله سازی ۸۲
- شکل ۵-۲۳: نمودار بود G_{11} و Q_{1t} برای ناحیه اول قبل از طراحی کنترل کننده ۸۴

- شکل ۵-۲۴: نمودار بود $G11$ و $Q1t$ برای ناحیه اول بعد از طراحی کنترل کننده ۸۴
- شکل ۵-۲۵: نمودار بود $G11$ و $Q1t$ برای ناحیه دوم قبل از طراحی کنترل کننده ۸۵
- شکل ۵-۲۶: نمودار بود $G11$ و $Q1t$ برای ناحیه دوم بعد از طراحی کنترل کننده ۸۶
- شکل ۵-۲۷: سهمیم توان اکتیو با اعمال حلقه کنترل کننده مجازی و ضرایب افتی یکسان ۸۷
- شکل ۵-۲۸: سهمیم توان راکتیو با اعمال حلقه کنترل کننده مجازی و ضرایب افتی یکسان ۸۷
- شکل ۵-۲۹: نمودار بود $G11$ و $Q1t$ برای ناحیه دوم قبل از طراحی کنترل کننده ۸۸
- شکل ۵-۳۰: سهمیم توان اکتیو با ضریب افتی متفاوت و اعمال حلقه کنترل کننده مجازی ۸۹
- شکل ۵-۳۱: سهمیم توان راکتیو با ضریب افتی متفاوت و اعمال حلقه کنترل کننده مجازی ۹۰



فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲: مقایسه روش کنترل اف‌تی با حلقه امیدانس مجازی مبتنی بر کنترل اف‌تی ۱۵
- جدول ۱-۳: مشخصات یک خط نمونه ۲۷
- جدول ۱-۴: مقادیر اولیه ۵۶
- جدول ۲-۴: پارامترهای تست سیستم ۵۶
- جدول ۳-۴: مقادیر پارامترهای خطوط و بار ۵۶



فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه صنعت برق در سطح دنیا با مسائلی همچون افزایش تقاضای انرژی، افزایش رقابت در بازار برق و همچنین محدودیت‌های موجود در سیستم‌های قدرت سنتی مواجه است، بنابراین شبکه‌ی قدرت با مشکلات جدیدی مواجه می‌شود و نیاز به یک شبکه‌ی برق کارآمدتر در شرایط کنونی احساس می‌شود. محدودیت‌های زیست محیطی همچون انتشار گازهای گلخانه‌ای یکی از نگرانی‌های اصلی کشورهای دنیا است، لذا استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (RES) و منابع تولید پراکنده (DG^۱) جهت تولید انرژی پاک مورد توجه زیادی قرار گرفته است. افزایش حضور منابع تولید پراکنده در شبکه، زمینه‌ی بروز تغییراتی در ساختار شبکه‌های قدرت را فراهم می‌کند. جهت رفع مشکلاتی که با ورود انرژی‌های تجدیدپذیر و منابع تولید پراکنده به شبکه برق به وجود می‌آید، مفهوم ریزشبکه^۲ مطرح شد و سپس چالش‌ها و مشکلاتی مطرح شدند [۱].

ریزشبکه ساختار جدیدی است که با حضور منابع تولید پراکنده، منجر به به‌روزرسانی شبکه برق می‌شود. هر ریزشبکه می‌تواند شامل منابع انرژی تجدیدپذیر مانند توربین‌های بادی، پیل سوختی، سیستم‌های فوتوولتاییک^۴، سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی، بارهای کنترل‌پذیر و ادوات الکترونیک

1. Renewable energy system

2. Distributed generation

3. Microgrid

4. Photovoltaic

قدرت باشد. در واقع ریزش شبکه‌ها برای یکپارچه‌سازی منابع انرژی تجدیدپذیر، میکروژنراتورها و سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی و همچنین مدیریت بارهای حساس و غیرحساس، در حال توسعه مداوم هستند. پیدایش ریزش شبکه راه حل مناسبی برای ادغام هرچه بیشتر منابع انرژی تجدیدپذیر در شبکه‌های برق موجود است. ریزش شبکه‌ها می‌توانند بارهای محلی و حساس را تامین کنند و این ویژگی به همراه قابلیت عملکرد در دو حالت جزیره‌ای^۱ و متصل به شبکه^۲، قابلیت اطمینان شبکه برق را از نظر بار/مصرف کننده افزایش می‌دهد [۲].

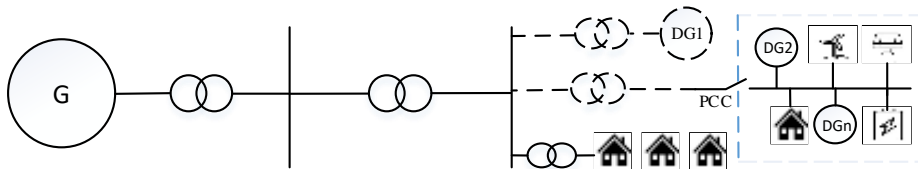
افزایش سطح مصرف انرژی و تقاضا برای کیفیت بالاتر برق مصرفی، افزایش پایداری، قابلیت اطمینان، دغدغه‌های زیست محیطی، محدودیت سوخت‌های فسیلی و آلودگی هوا دلایلی برای لزوم توسعه ریزش شبکه‌ها هستند. از دید شبکه مزیت اصلی ریزش شبکه این است که به عنوان یک واحد کنترل شونده مستقل در سیستم قدرت عمل می‌کند و می‌تواند به عنوان بار متراکم شده‌ی واحد کار کند که این نکته کنترل‌پذیری آسان و انطباق آن با قوانین و مقررات شبکه را بدون هیچ گونه اختلالی در قابلیت اطمینان و امنیت شبکه‌ی اصلی، محقق می‌سازد. در واقع هدف اصلی ریزش شبکه‌ها افزایش امنیت برق رسانی و قابلیت اطمینان خواهد بود [۳]. در شکل ۱-۱ نمایی از شبکه انتقال و توزیع و جایگاه ریزش شبکه و منابع تولید پراکنده نمایش داده شده است.

در سیستم‌های قدرت معمولی^۳ ژنراتور سنکرون در یک سرعت خاص کار می‌کند. قسمت چرخان ژنراتور سنکرون که روتور نام دارد، به واسطه جرم زیاد مقدار اینرسی^۴ زیادی دارد که موجب می‌شود در سرعت نامی انرژی جنبشی در آن ذخیره شود. اینرسی خاصیتی از یک جسم است که در برابر تغییر سرعت یا جهت حرکت جسم مقاومت می‌کند. هنگامی که در سیستم اختلالی به وجود می‌آید، روتور که دارای اینرسی است در مقابل تغییر آنی سرعت مقاومت می‌کند و با تبادل انرژی جنبشی خود عدم تعادل میان توان تولیدی و تغییرات بار را تا حدودی جبران می‌کند. از آنجایی که فرکانس شبکه تحت تاثیر سرعت روتور است، اینرسی باعث کاهش نوسانات فرکانس می‌شود و در برابر تغییرات فرکانس مقاومت می‌کند. در ریزش شبکه‌ها به دلیل نبود جسم گردان و استفاده از ادوات الکترونیک قدرت، سیستم بدون اینرسی و یا دارای مقدار اینرسی کمی است. با توجه به ماهیت تصادفی تولید منابع تجدیدپذیر و کاهش اینرسی، شبکه در برابر

1. Islanded

2. Grid connected

3. Conventional power system



جایگاه تولید

شبکه انتقال

شبکه توزیع

ریز شبکه

شکل ۱-۱: نمایی از شبکه انتقال و توزیع و جایگاه ریز شبکه و تولید پراکنده

اغتشاشات مقاومت کمی دارد که در این صورت با افزایش درصد حضور ریز شبکه‌ها به خصوص در حالت جزیره‌ای، مشکلات پایداری فرکانس و تسهیم دقیق توان مطرح می‌گردد. در واقع کاهش اینرسی در سیستم می‌تواند موجب تغییر بسیار سریع در فرکانس سیستم شود و در نتیجه پایداری فرکانس در سیستم کاهش می‌یابد [۵].

یکی از پارامترهای مهم دیگر در سیستم‌های قدرت معمولی، ضریب میرایی ناشی از اصطکاک مکانیکی و تلفات الکتریکی در استاتور ژنراتورهای سنکرون می‌باشد. ضریب میرایی موجب میراشدن نوسانات فرکانس پایین در سیستم‌های قدرت می‌شود. نوسانات فرکانس پایین با گذشت زمان می‌تواند موجب ناپایداری در سیستم شود. در ریز شبکه‌ها، با توجه به اینکه ژنراتورهای سنکرون حضور ندارند، سیستم فاقد ضریب میرایی و یا دارای مقدار کمی است. جهت حفظ پایداری و بهبود عملکرد در ریز شبکه‌ها، می‌توان از مفاهیمی که به صورت ذاتی در سیستم‌های قدرت وجود دارند و موجب بهبود پایداری و عملکرد سیستم می‌شوند، در ریز شبکه‌ها استفاده کرد. یعنی با الهام گرفتن از سیستم قدرت، اینرسی، ضریب میرایی و موارد دیگر در ریز شبکه بازآفرینی شوند [۸] و [۹].

۱-۲- بیان مسئله و معرفی روش حل آن

در چند دهه گذشته به دلیل افزایش مصرف انرژی و همچنین آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از آن که از طریق نیروگاه‌ها و استفاده از سوخت‌های فسیلی به وجود می‌آیند، ریز شبکه‌ها مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. منابع تولید پراکنده در ریز شبکه‌ها توسط واسط‌های الکترونیک قدرت به باس مشترک وصل خواهند شد و کنترل ریز شبکه نیز از طریق این واسط‌ها صورت خواهد گرفت. امکان کنترل منابع تولید انرژی تجدیدپذیر یا مولدهای پراکنده از طریق واسط‌های الکترونیک قدرت موجب انعطاف پذیری و قابلیت اطمینان بیشتر ریز شبکه‌ها خواهد شد به گونه‌ای که اگر الگوی کنترلی و ساختار واسط‌های الکترونیک قدرت به درستی طراحی شوند، عملکرد بهینه این سیستم‌ها می‌تواند تضمین گردد. بنابراین لازم است که کارایی و

۶-۳- پیشنهادات

تجربیات ارزشمند حاصل از این پژوهش، پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی در اختیار پژوهشگران می‌گذارد که مهم‌ترین آنها به شرح زیر است.

- اعمال حلقه‌های دینامیک مجازی مانند حلقه میرایی مجازی، حلقه خازن مجازی، حلقه اینرسی مجازی و غیره و بررسی بهبود تسهیم توان و کیفیت پاسخ گذرا
- استفاده از سایر روش‌های کنترلی برای طراحی کنترل‌کننده مجازی و بهبود تسهیم توان
- استفاده از روش کنترل تطبیقی برای تعیین مقدار به‌روز امیدانس مجازی



مراجع و ماخذ

- [1] Saeed, M.H., Fangzong, W., Kalwar, B.A. and Iqbal, S., 2021. A review on microgrids' challenges & perspectives. *IEEE Access*, 9, pp.166502-166517.
- [2] Cagnano, A., De Tuglie, E. and Mancarella, P., 2020. Microgrids: Overview and guidelines for practical implementations and operation. *Applied Energy*, 258, p.114039.
- [3] Bevrani, H., François, B. and Ise, T., 2017. *Microgrid dynamics and control*. John Wiley & Sons.
- [4] Han, H., Hou, X., Yang, J., Wu, J., Su, M. and Guerrero, J.M., 2015. Review of power sharing control strategies for islanding operation of AC microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 7(1), pp.200-215.
- [5] Bevrani, H., Ise, T. and Miura, Y., 2014. Virtual synchronous generators: A survey and new perspectives. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 54, pp.244-254.
- [6] Kreishan, M.Z. and Zobaa, A.F., 2021. Optimal allocation and operation of droop-controlled islanded microgrids: A review. *energies*, 14(15), p.4653.
- [7] Bidram, A. and Davoudi, A., 2012. Hierarchical structure of microgrids control system. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(4), pp.1963-1976.
- [8] Unamuno, E., Paniagua, J. and Barrena, J.A., 2019. Unified virtual inertia for AC and DC microgrids: And the role of interlinking converters. *IEEE Electrification Magazine*, 7(4), pp.56-68.
- [9] Baruwa, M. and Fazeli, M., 2020. Impact of virtual synchronous machines on low-frequency oscillations in power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 36(3), pp.1934-1946.
- [10] Tayab, U.B., Roslan, M.A.B., Hwai, L.J. and Kashif, M., 2017. A review of droop control techniques for microgrid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, pp.717-727.
- [11] Dou, C., Zhang, Z., Yue, D. and Song, M., 2017. Improved droop control based on virtual impedance and virtual power source in low-voltage microgrid. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 11(4), pp.1046-1054.
- [12] Felisberto, K.D.R., de Godoy, P.T., Marujo, D., de Almeida, A.B. and de Barros Iscuissati, R., 2022. Trends in microgrid droop control and the power sharing problem. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 33(3), pp.719-732.
- [13] Tayab, U.B., Roslan, M.A.B., Hwai, L.J. and Kashif, M., 2017. A review of droop control techniques for microgrid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, pp.717-727.
- [14] Vasquez, J.C., Mastromauro, R.A., Guerrero, J.M. and Liserre, M., 2009. Voltage support provided by a droop-controlled multifunctional inverter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(11), pp.4510-4519.
- [15] Oureilidis, K.O. and Demoulias, C.S., 2016. A decentralized impedance-based adaptive droop method for power loss reduction in a converter-dominated islanded microgrid. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 5, pp.39-49.

- [16] Mohamed, Y.A.R.I. and El-Saadany, E.F., 2008. Adaptive decentralized droop controller to preserve power sharing stability of paralleled inverters in distributed generation microgrids. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23(6), pp.2806-2816.
- [17] Yang, S.Y., Zhang, C.W., Zhang, X., Cao, R.X. and Shen, W.X., 2006, May. Study on the control strategy for parallel operation of inverters based on adaptive droop method. In 2006 1ST IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (pp. 1-5). IEEE.
- [18] Zhong, Q.C., 2011. Robust droop controller for accurate proportional load sharing among inverters operated in parallel. *IEEE Transactions on industrial Electronics*, 60(4), pp.1281-1290.
- [19] Yao, T., Jiang, Y. and Ayyanar, R., 2014, October. Single phase DQ frame Glover McFarlane H infinity robust droop controller design. In IECON 2014-40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (pp. 4988-4994). IEEE.
- [20] Eskandari, M., Li, L., Moradi, M.H., Siano, P. and Blaabjerg, F., 2019. Active power sharing and frequency restoration in an autonomous networked microgrid. *IEEE Transactions on Power Systems*, 34(6), pp.4706-4717.
- [21] Bhatt, N., Sondhi, R. and Arora, S., 2022. Droop control strategies for microgrid: A review. *Advances in Renewable Energy and Electric Vehicles: Select Proceedings of AREEV 2020*, pp.149-162.
- [22] Li, Y.W. and Kao, C.N., 2009. An accurate power control strategy for power-electronics-interfaced distributed generation units operating in a low-voltage multibus microgrid. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(12), pp.2977-2988.
- [23] He, J. and Li, Y.W., 2011. Analysis, design, and implementation of virtual impedance for power electronics interfaced distributed generation. *IEEE Transactions on industry Applications*, 47(6), pp.2525-2538.
- [24] Wu, X., Shen, C. and Iravani, R., 2016. Feasible range and optimal value of the virtual impedance for droop-based control of microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 8(3), pp.1242-1251.
- [25] Morales-Paredes, H.K., Rodrigues, D.T., Burgos-Mellado, C. and Bonaldo, J.P., 2022. Enhanced control strategy based on virtual impedance loops to achieve the sharing of imbalance and harmonic in 3-phase 4-wire isolated microgrids. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 37(4), pp.3412-3415.
- [26] Guerrero, J.M., De Vicuna, L.G., Matas, J., Castilla, M. and Miret, J., 2005. Output impedance design of parallel-connected UPS inverters with wireless load-sharing control. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 52(4), pp.1126-1135.
- [27] Sun, Y., Hou, X., Yang, J., Han, H., Su, M. and Guerrero, J.M., 2017. New perspectives on droop control in AC microgrid. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 64(7), pp.5741-5745.
- [28] Zandi, F., Fani, B., Sadeghkhan, I. and Orakzadeh, A., 2018. Adaptive complex virtual impedance control scheme for accurate reactive power sharing of inverter interfaced autonomous microgrids. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12(22), pp.6021-6032.
- [29] Dou, C., Zhang, Z., Yue, D. and Song, M., 2017. Improved droop control based on virtual impedance and virtual power source in low-voltage microgrid. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 11(4), pp.1046-1054.

- [30] Vijay, A.S., Parth, N., Doolla, S. and Chandorkar, M.C., 2021. An adaptive virtual impedance control for improving power sharing among inverters in islanded AC microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12(4), pp.2991-3003.
- [31] Sabzevari, K., Karimi, S., Khosravi, F. and Abdi, H., 2019. Modified droop control for improving adaptive virtual impedance strategy for parallel distributed generation units in islanded microgrids. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 29(1), p.e2689.
- [32] Pham, M.D. and Lee, H.H., 2020. Effective coordinated virtual impedance control for accurate power sharing in islanded microgrid. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68(3), pp.2279-2288.
- [33] Rahman, M.S., Orchi, T., Saha, S. and Haque, M.E., 2020. Cooperative multiagent based distributed power sharing strategy in low-voltage microgrids. *IEEE transactions on industry applications*, 56(4), pp.3285-3296.
- [34] Ahmed, M., Meegahapola, L., Vahidnia, A. and Datta, M., 2021. Adaptive virtual impedance controller for parallel and radial microgrids with varying X/R ratios. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 13(2), pp.830-843.
- [35] Buraimoh, E., Aluko, A.O., Oni, O.E. and Davidson, I.E., 2022. Decentralized Virtual Impedance-Conventional Droop Control for Power Sharing for Inverter-Based Distributed Energy Resources of a Microgrid. *Energies*, 15(12), p.4439.
- [36] Deng, F., Petucco, A., Mattavelli, P. and Zhang, X., 2022. An enhanced current sharing strategy for islanded ac microgrids based on adaptive virtual impedance regulation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 134, p.107402.
- [37] Fan, B., Li, Q., Wang, W., Yao, G., Ma, H., Zeng, X. and Guerrero, J.M., 2021. A novel droop control strategy of reactive power sharing based on adaptive virtual impedance in microgrids. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 69(11), pp.11335-11347.
- [38] Panteli, M. and Kirschen, D.S., 2015. Situation awareness in power systems: Theory, challenges and applications. *Electric Power Systems Research*, 122, pp.140-151.
- [۳۹] گئورك قره پتيان، محمد شاهيده پور، بهروز ذاکر (۱۳۹۷). شبکه‌های هوشمند و ريز شبکه‌ها. دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- [40] Pogaku, N., Prodanovic, M. and Green, T.C., 2007. Modeling, analysis and testing of autonomous operation of an inverter-based microgrid. *IEEE Transactions on power electronics*, 22(2), pp.613-625.
- [41] Naderi, M., Shafiee, Q., Bevrani, H. and Blaabjerg, F., 2020. Low-frequency small-signal modeling of interconnected AC microgrids. *IEEE Transactions on Power Systems*, 36(4), pp.2786-2797.
- [42] Nikolakakos, I.P., Zeineldin, H.H., El-Moursi, M.S. and Kirtley, J.L., 2017. Reduced-order model for inter-inverter oscillations in islanded droop-controlled microgrids. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(5), pp.4953-4963.
- [43] Naderi, M., Khayat, Y., Shafiee, Q., Dragicevic, T., Bevrani, H. and Blaabjerg, F., 2019. Interconnected autonomous AC microgrids via back-to-back converters—Part I: Small-signal modeling. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 35(5), pp.4728-4740.

[۴۴] علی خاکی صدیق (۱۳۹۳). تحلیل و طراحی سیستم‌های کنترل چند متغیره. دانشگاه صنعتی

خواجه نصیرالدین طوسی

- [45] Wei, C., Chen, Q., Liu, J., Yin, Z. and Luo, J., 2021. An overview of prescribed performance control and its application to spacecraft attitude system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 235(4), pp.435-447.
- [45] Bu, X., 2023. Prescribed performance control approaches, applications and challenges: A comprehensive survey. *Asian Journal of Control*, 25(1), pp.241-261.
- [47] Hu, Y., Geng, Y., Wu, B. and Wang, D., 2020. Model-free prescribed performance control for spacecraft attitude tracking. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 29(1), pp.165-179.
- [48] Zhang, R., Xu, B. and Zhao, W., 2020. Finite-time prescribed performance control of MEMS gyroscopes. *Nonlinear Dynamics*, 101, pp.2223-2234.



Abstract:

Microgrids represent a new structure in power systems, characterized by the presence of distributed generator (DG) sources. These systems have prompted the reconfiguration of traditional power systems to accommodate the unique capabilities of microgrids. One of the most significant features of microgrids is their ability to operate in an islanded mode, which enables them to supply the required energy during disturbances in the main grid. Power sharing is an essential requirement for islanded microgrids, and it presents a substantial challenge. Insufficient power sharing leads to unbalanced load sharing, which can cause damage to both consumers and the grid during grid-connected operation, as well as create voltage instability conditions. Appropriate power sharing enhances microgrid performance and controllability during faults. Achieving proper power sharing among DGs in a microgrid necessitates suitable control schemes. In microgrids comprising multiple DGs, droop control is a widely used technique for power sharing purposes. Droop control maintains voltage and frequency at different values compared to reference levels and distributes active and reactive power among DGs. While active power is proportionally shared among DGs according to their rated power, reactive power sharing is prone to errors due to differences between line impedance and inverter output impedance. To achieve precise power sharing using droop control in microgrids, it is crucial to compensate for these impedance differences. The proposed control approach in this work is based on the implementation of virtual dynamic loops as a modifying term for effective power sharing. Employing virtual dynamic loops is a promising strategy for improving the performance of conventional droop control methods. The primary objective of this work is to utilize virtual dynamic loops to achieve accurate active and reactive power sharing in microgrids. The application of virtual dynamic loops reduces the dependency of droop control on line impedance and inverter output impedance while preserving the simplicity of the droop control structure. Furthermore, the straightforward design of virtual dynamic loops enhances system reliability. In this work, various types of virtual dynamic loops, such as virtual impedance loops and virtual control loops, are employed to accomplish precise power sharing and improve the performance of microgrids

Keywords: Microgrid, Islanded mode, Power sharing, Reactive power, Droop control, Virtual dynamics



University of Kurdistan
Faculty of Engineering
Department of Power and Control Engineering

A Thesis Submitted to the Postgraduate Studies Office in Partial Fulfillment
of the Requirements for the Degree of M.Sc
in Electrical Engineering

Title:

Power Sharing Improvement in Islanded AC Microgrids Using Virtual
Dynamics

By:

Mohamad Rabosha

The above thesis was evaluated and approved by the following members of the thesis committee with
Excellent quality on 16 Feb 2023

<u>Position</u>	<u>Title and Name</u>	<u>Signature</u>
1. Supervisor:	Prof. Hassan Bevrani	
2. Advisor:	Assoc. Prof. Qobad Shafiee	
3. External Examiner:	Assoc. Prof. Yazdan Batmani	
4. Internal Examiner:	Assoc. Prof. Hemin Golpira	

Head of Department:



Faculty Graduate Coordinator:





University of Kurdistan
Faculty of Engineering
Department of Power and Control Engineering

A Thesis
Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master in Control Electrical Engineering

Title:
**Power Sharing Improvement in Islanded AC Microgrid
Using Virtual Dynamics**

By:
Mohamad Rabosha

Supervisor:
Prof. Hassan Bevrani

Advisor:
Dr. Qobad Shafiee

February, 2023



**University of Kurdistan
Faculty of Engineering
Department of Power and Control Engineering**

A Thesis
Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master in Control Electrical Engineering

**Title:
Power Sharing Improvement in Islanded AC Microgrid Using Virtual
Dynamics**

**By:
Mohamad Rabosha**

**Supervisor:
Prof. Hassan Bevrani**

**Advisor:
Dr. Qobad Shafiee**

February, 2023